

瞬時電界波形記録材料の動的屈折率変化の測定

西岡研究室 今澤貴夫 0312013

1.はじめに

チャープ回折格子を用いた 10 fs 光パルスの群遅延分散の補償法[1]における瞬時電界波形の記録では、2 光子吸収を用いた有機色素材料の屈折率変化を利用している。そのため記録には数 GW/cm^2 以上のピーク強度が必要となる。ピーク強度が高いと記録材料中で非線形効果による自己位相変調や自己集束といった位相シフトが生じる。位相シフト量はピーク強度に比例するので、正確な波形記録のためにはシフト量が無視できる程度になるまで強度を下げる必要がある。

一方ピーク強度を下げると露光時間を長くする必要があるが、露光時間が長すぎると熱や機械振動によるノイズが大きくなり、これもまた正確な波形記録を妨げる。従って、正確な波形記録のためには記録材料中での位相シフトを避け、かつノイズによる影響が無視できる時間内で記録できるピーク強度が必要になる。

本研究では、瞬時電界波形の記録材料の評価と波形記録時のピーク強度の最適化を行うことを目的とした。

2.基板と樹脂材料の位相変調

本研究では波形記録材料として、C307 色素を酢酸ビニル樹脂に溶かし、石英基板にスピコートしたものをを用いた。まずは、色素を含まないビニル樹脂と石英基板での位相シフト量を調べるため、Z-scan 法[2]を用いて試料の非線形屈折率の導出と自己位相変調の測定を行った。

Z-scan 法は、レンズで試料に集光したときレンズの焦点からの距離によって照射される光強度が変化することを利用して非線形屈折率を測定する方法である。

レンズの焦点に対して試料が光源側にあるとき、試料中での自己集束によって焦点距離が短くなり、検出点におけるビーム中央部の光強度は下がる。逆に、試料がレンズの焦点より検出器側にあると、レンズの焦点から広がった光は試料中での自己集束によって集光されて焦点距離が長くなるので、検出点におけるビーム中央部の光強度は高くなる。

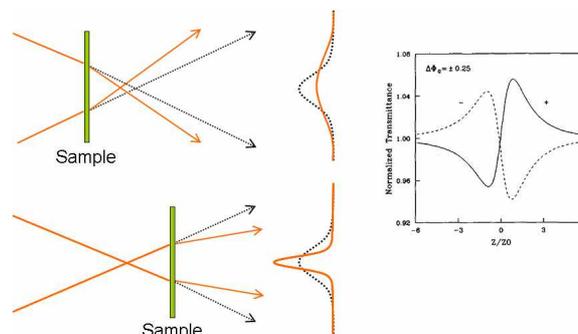


図 1 Z-scan 法の原理と測定結果のモデル

Z-scan に用いるレーザー光がガウス型ビームである場合、ビーム中央部の光強度変化を見るためのアパーチャーの透過率を S 、試料が焦点にあるときの位相変調を Φ_0 とすると、 ΔT_{pv} は以下の式で表される。

$$\Delta T_{pv} = 0.406(1 - S)^{0.27} |\Delta \Phi_0| \quad \text{式 1}$$

また、位相変調 Φ_0 は、試料の厚さを L 、光強度を I 、波長を λ とすると以下の式で表される。

$$\Delta \Phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 I L \quad \text{式 2}$$

以上の2式を用いることで、透過光強度の変化量から試料の非線形屈折率 n_2 と位相変調 $\Delta \Phi_0$ を求めることができる。

基板とビニル樹脂の Z-scan は以下の測定系で行った。

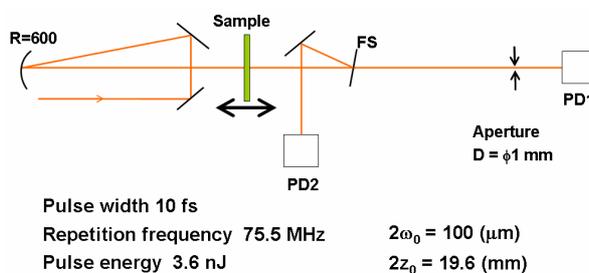


図 2 非線形屈折率の測定

ここで Sample は酢酸ビニル樹脂をスピンコートした石英基板を、FS はビームスプリッターとしての石英基板を、PD1 と PD2 はフォトダイオードを表す。また、光源には中心波長 800 nm、パルス幅 10 fs、繰り返し周波数 75.5 MHz、パルスエネルギー 3.6 nJ のモードロックレーザーを用いた。

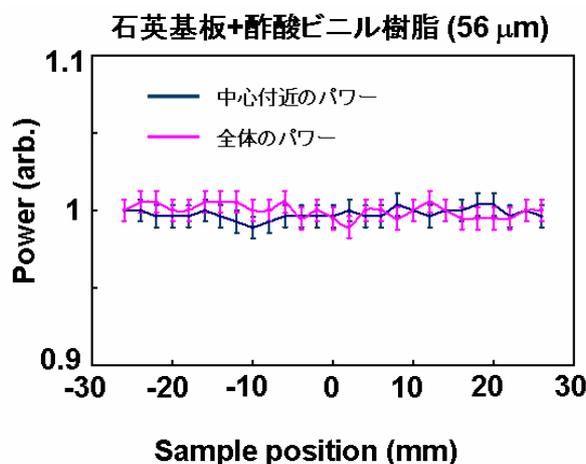


図 3 基板と樹脂膜の Z-scan 結果

試料には石英基板(2.3 mm)に酢酸ビニル樹脂膜(56 μm)をスピコートしたものを用いた。

ピーク強度 14 GW/cm^2 の光を照射したときの試料中での位相シフト量は式 1、式 2 を用いて計算した結果 $\pi/90$ rad であった。位相シフト量はピーク強度に比例するので、許容されるシフト量を $\pi/20$ rad とした場合、ピーク強度の上限は 63 GW/cm^2 と見積もられた。

3.色素薄膜の屈折率変化

記録材料である色素薄膜は、酢酸ビニル樹脂 5 ml に C307 色素 200 mg を溶かした溶液を厚さ 2.3 mm の石英基板上で 170 μm の厚さにスピコートしたものを用いた。



図 4 波形記録材料

記録した波形を再生し、瞬時電界波形を測定するためには屈折率変化が 0.02 以上必要であることがわかっている[1]。そこで、書き込み時の光強度、露光時間、色素膜の屈折率変化の関係を調べるため、Z-scan 法によって求められる光強度の最大変化点（焦点から 0.85 z_0 の点）に試料を固定して光を照射し、透過光全体のパワー変化と中央部のパワー変化を同時に測定した。

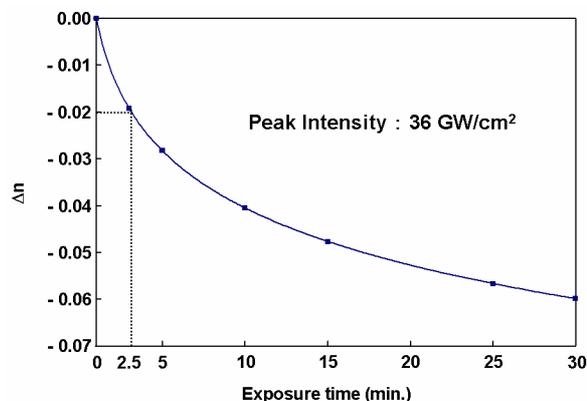
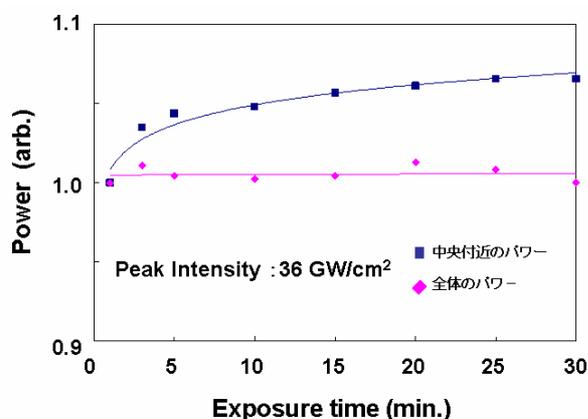


図 5 (a)最大光強度変化点での透過光パワーの時間変化

(b)露光時間に対する屈折率変化

透過光全体のパワーに対する中央部のパワーの占める割合の変化を求め、屈折率変化を求めることができる。図 5(a)は透過光全体のパワーと中央部のパワーの時間変化を、(b) はビーム中央部のパワーの占める割合の変化から求めた屈折率の時間変化を表す。36 GW/cm²の光を照射した場合必要な屈折率変化得るまでに 2 分半かかることが分かった。次に、ピーク強度を 59 GW/cm² に上げて照射した。

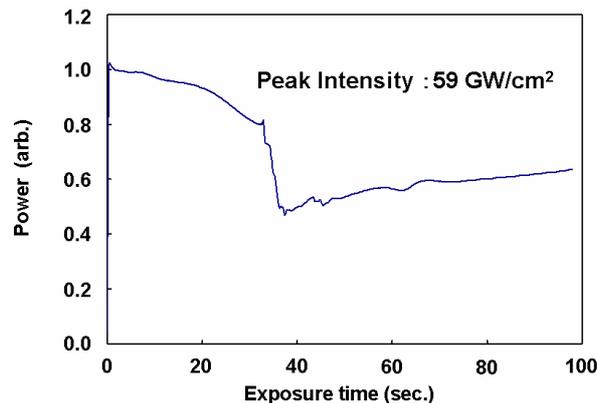


図 6 59 GW/cm² の光を照射したときの透過光パワーの時間変化

約 40 秒で透過光の強度に急激な変化が見られ、ビームパターンにも著しい変化が認められた。これは記録材料（ビニル樹脂）の熱的損傷によるものと考えられる。

4. 結論

試料中での自己位相変調が無視できるピーク強度の上限は 63 GW/cm² と見積もられたが、それより低い 59 GW/cm² において試料の熱的損傷が生じてしまうことが分かった。また、36 GW/cm² で照射した場合必要な屈折率変化 0.02 を得るまでに 2 分半かかることが分かった。従って波形記録に適した光強度は 36 GW/cm² であることが分かった。

参考文献

- [1]. Hajime Nishioka, Hitoshi Tomita, Keisuke Hayasaka, and Ken-ichi Ueda, Opt. Express **14**, 7447-7455 (2006).
- [2]. M. Sheik, A. A. Said, T. H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland, IEEE J. Quantum Electron., **QE-26**, 760-769 (1990).
- [3]. Marvin J. Weber “CRC handbook of laser science and technology Optical materials” CRC Press
- [4]. Ulrich Brackmann “Lambdachrome Laser Dyes” LAMBDA PHYSIK